

Stability Analysis of Operating Trains under Construction Ventilation by Using Adjacent Existing Railway Tunnels and Inclined Shafts

Jun Guo

China Railway 15 Bureau Group Co., Ltd., Shanghai, 200040, China

Abstract

In view of the special situation of ventilation in the construction of a new tunnel by using the adjacent existing tunnel and inclined shaft, the variation law of the wind field around the inclined shaft is obtained by numerical simulation, and the stability of the train is analyzed. The results show that: ① when the inclined shaft is used to ventilate, the wind speed increases obviously near the side of the inclined shaft, but the wind field in the surrounding area is affected; ② when the train runs under the influence of the wind field of the inclined shaft, it will be subjected to transverse force, but the possibility of overturning is very small, which basically does not affect the safe operation of the train; ③ the relevant results can provide reference for the design and construction of similar projects.

Keywords

existing tunnel; inclined shaft; wind intake; train; transverse force

利用邻近既有铁路隧道及斜井进行施工通风情况下的运营列车稳定性分析

郭军

中铁十五局集团有限公司, 中国·上海 200040

摘要

针对利用邻近既有隧道及斜井进行新建隧道施工通风这种特殊情况, 通过数值模拟得出了取风斜井周边风场变化规律, 并对列车的稳定性进行了分析。结果表明: ①斜井取风时靠近斜井一侧范围内风速明显增大, 周边区域一定范围内风场受到影响; ②列车在斜井取风的风场影响范围内运行时承受一定的横向力, 但发生倾覆的可能性很小, 基本上不影响列车安全运营; ③相关成果可为类似工程设计和施工提供借鉴。

关键词

既有隧道; 斜井; 取风; 列车; 横向力

1 引言

现阶段, 中国铁路干线建设逐渐向海拔高、多山岭地区的西南与西北地区转移, 长大隧道屡见不鲜。中国在长大山岭隧道施工中所采用建设思路以“长隧短打”为主, 通常开挖多个斜井创造多个工作面以便分段施工, 能够降低施工风险、保证施工进度^[1-2], 同时也可利用斜井通风, 保障隧道施工作业环境^[3-5]。某些特殊情况下, 新建长大隧道与既有隧道相邻, 可以尝试利用既有运营隧道及斜井进行施工和通风作业, 但此做法对既有隧道内运营列车稳定性的影响是亟待研究的问题。

中国和其他国家学者对列车在明线上运行时在横向风

作用下的稳定性问题开展了一系列研究。Minoru Suzuki等^[6]认为列车在侧风作用下的稳定性不仅取决于车辆的形状, 还取决于路基的高度和形状; E Andersson等^[7]介绍了与列车在强横向风中倾覆风险相关的安全评估方法, 利用多体模拟技术确定了临界倾覆横向风速; 赵军等^[8]针对直线区段横风载荷对重载货车动力学性能影响规律开展研究, 指出列车通过多风区段应适当限速运行, 并在强风区域设置挡风墙以降低横风载荷对行车安全的威胁; 刘荣等^[9]采用数值模拟方法计算了横风下高速列车的气动力及力矩系数, 在此基础上研究了横风下车辆临界倾覆风速曲线及不同参数对其倾覆的影响。可见, 已有研究成果均未探讨既有隧道斜井取风对运营列车稳定性的影响。

论文以新建兰张三四线铁路新乌鞘岭隧道为依托, 选取典型区域通过数值模拟的手段讨论利用邻近既有隧道斜

【作者简介】郭军(1977-), 男, 中国安徽阜阳人, 本科, 高级工程师, 从事桥梁隧道施工管理研究。

井进行施工通风的情况下斜井周边风场的变化情况以及运营列车的稳定性,相关成果可供后续类似工程参考。

2 工程概况

新乌鞘岭隧道为长大单洞双线隧道(全长17125m)临近既有双洞单线隧道(全长20050m),最大埋深952m,共设置6座斜井,其中5座在既有隧道的5号、7号、8号、9号及10号斜井的基础上修建,并新建长度为279m的横洞1座。新建隧道分别上跨既有7号、8号、9号斜井,下穿既有10号、11号斜井,与既有5号斜井未发生交叉关系。施工通风方案中采用既有隧道5号、7号、8号、9号及10号斜井进行取风作业,采取长管压入式通风方式。

由于隧道内斜井间隔较大,斜井取风具有相对独立性。这里选取具有代表性的既有隧道5号斜井附近区域,通过三维数值计算分析在满足施工通风方案所需风量下运营列车的稳定性,计算时其余斜井封闭。

3 计算参数

3.1 列车参数

既有隧道内运营列车型号为韶山7D型电力机车(SS7D),高度为4.12m、宽度为3.105m、编组长度为600m、运营速度为120km/h。

3.2 隧道参数

既有隧道为净空面积33m²的单洞双线隧道,5号斜井净空面积为30m²,距隧道进口6.56km,施工通风方案中将既有线隧道右线通过5号斜井与新建隧道联系起来。

3.3 斜井参数

5号既有斜井长度2182.35m,综合坡度11%,与既有铁路夹角45°,施工阶段通风平面布置图如图1所示。在通风方案中,5号斜井临既有隧道一侧封闭,仅保留宽度为1.2m,高度为2m的取风口。5号斜井临支洞一侧设置封

堵墙,仅保留2个距地面高度为2m、长度和宽度均为1.5m的取风口,取风口外侧布置两台轴流风机,最大取风量为5790m³。

3.4 环境参数

计算区域既有隧道内温度为20℃,5号斜井与既有隧道连接处海拔为2600m,对应的气压为71.7kPa。

4 计算模型及测点布置

4.1 计算模型

建立数值计算模型。应用滑移网格技术模拟列车运动。采用非结构化网格对模型计算域进行网格划分,在数值计算时以5号斜井为中心向既有隧道进出口方向各取1km的长度加密计算网格,斜井与既有隧道交汇处网格模型共计生成网格数为3000多万。计算模型的边界条件见文献^[10],论文不再赘述。

4.2 测点布置

新建隧道施工通风时从5号斜井取风,造成主隧道与斜井交汇处附近风场发生变化。因此,在进行数值计算时,需要重点对列车通过斜井过程中其周边风速进行监测分析。以既有隧道中轴线及5号斜井中心线为基准,对称布置14个风速测点,编号1~14。其中1、3、5、7、9、11、13号测点均位于来车方向左侧距既有隧道中轴线2.05m处(距车体0.5m),2、4、6、8、10、12、14号测点位于来车方向右侧与上述测点沿既有隧道中轴线对称布置,纵向上与斜井中心线距离分别为0m、±2.5m、±5m和±10m。每个测点监测全风速(X、Y、Z三个方向的合成风速,始终为正值,用符号VA表示)、纵向风速(平行于列车运行方向的风速,与列车运行方向相同为正,用符号VX表示)和横向风速(垂直于列车运行方向的风速,背离斜井为正,用符号VZ表示),测点高度均为2m,风速测点位置见图2。

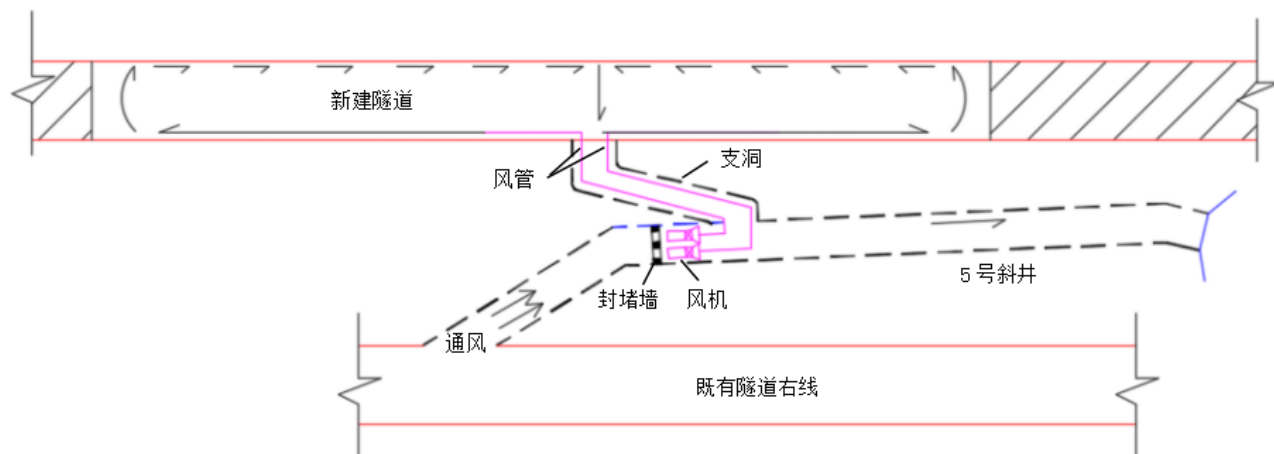


图1 5号斜井施工阶段通风平面布置图

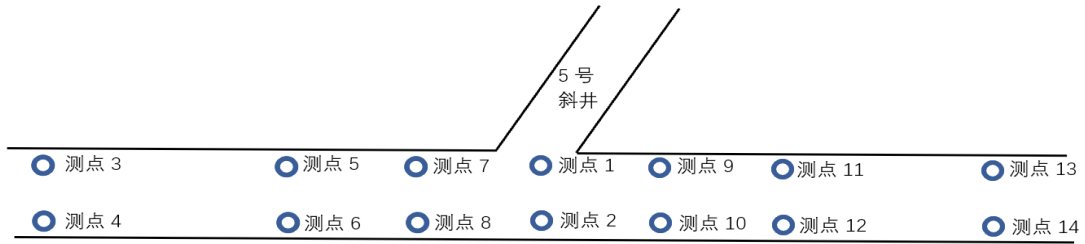


图2 风速测点位置示意图

5 计算结果与分析

风机开启的情况下,无列车通过时各测点处风速基本为定值,具体计算结果见表1。

表1 无列车通过时风速计算结果

测点号	风速最大值 / (m/s)			测点号	风速最大值 / (m/s)		
	VA	VX	VZ		VA	VX	VZ
1	3.55	0.03	-2.85	8	0.68	0.64	-0.13
2	0.33	-0.02	-0.17	9	2.58	-2.20	-0.97
3	1.05	1.04	0.00	10	0.68	-0.64	-0.14
4	1.03	1.03	0.00	11	1.31	-1.29	-0.07
5	1.31	1.30	-0.07	12	0.95	-0.94	-0.04
6	0.94	0.93	-0.04	13	1.06	-1.05	0.00
7	2.48	2.10	-0.97	14	1.04	-1.04	0.00

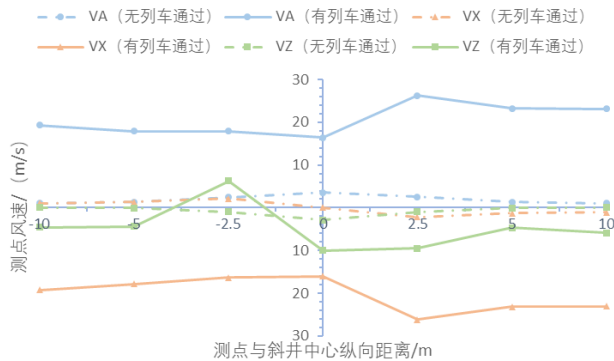
为系统分析斜井取风对隧道内风场产生的影响,下面将无列车通过且斜井不取风、无列车通过且斜井取风和列车通过且斜井取风三种工况的测点风速数据进行对比分析。

5.1 无列车通过时,斜井取风与不取风两种情况的比较

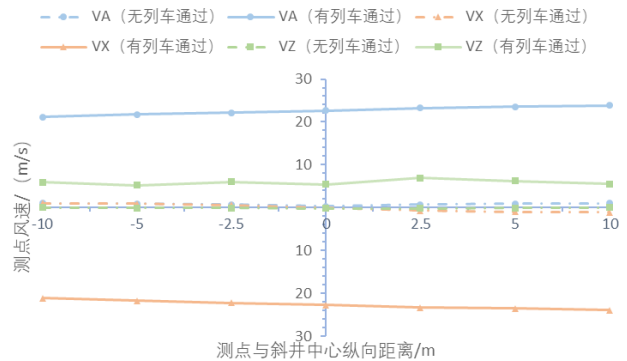
无列车通过且斜井不取风时,隧道内测点风速值均为0;而无列车通过但斜井取风时,隧道内流场发生变化,由表1可知,风速最大值出现在靠近斜井一侧位于斜井中心处,测点与斜井中心的距离越远则风速越小,说明斜井取风对其周边风场的影响范围是有限的。

5.2 斜井取风时,有列车通过与无列车通过两种情况的比较

测点风速最大值与位置关系如图3。显然,靠近斜井一侧测点风速波动较大,可见斜井取风会打破列车两侧的受力平衡,使列车在斜井取风的风场影响范围内运行时承受一定的横向力。



(a) 靠近斜井一侧测点风速最大值



(b) 远离斜井一侧测点风速最大值

图3 测点风速最大值与位置关系

6 运营列车安全性分析

由前文可知,列车在斜井取风状态下会受到横向力,因此需要计算列车倾覆参数,分析其倾覆的可能性。本节针对列车运行中的最不利情况进行计算分析,采用靠近斜井侧测点横向风速的最大值作为计算参数,忽略另一侧风场产生的抵消作用,以期对列车倾覆稳定性分析留有较大的安全余量。

基于黄宁^[11]对列车倾覆性的相关研究,列车倾覆力矩 M_z 和重力力矩 M_G 是用来评价列车在横风作用下稳定性的重要指标,其计算公式如下:

$$M_z = F_z h$$

$$M_G = mgb/2$$

式中, F_z 是侧向力,单位为N。以沿 z 轴正向为正,通过公式 $F_z = \rho V^2 A_z / 2$ 计算,其中 ρ 为空气密度,取为 0.95kg/m^3 (海拔 2600m), V 为横向风速,按最不利工况取本次测点横向风速最大值 9.97m/s ; A_z 是列车在 z 轴方向的投影面积,近似取 85.7m^2 。 h 是横向力作用点到列车底面的高度,为 2.05m 。 m 为列车重量,取为 21000kg 。 g 为重力加速度,取为 9.8m/s^2 。 b 为列车宽度,取为 3.105m 。

计算得到列车通过取风斜井周边区域时单节车厢受到的最大横向力 $F_z = 4.05\text{kN}$,最大倾覆力矩 $M_z = 8.3\text{kN}\cdot\text{m}$,重力力矩 $M_G = 319.5\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

由于斜井段长度很短,因此忽略向心力的作用,得到列车不发生倾覆的临界条件为:

$$M_z \leq M_G$$

通过将计算结果对比可知,列车通过取风斜井附近区域时的倾覆力矩远小于重力力矩,其发生倾覆的可能性很小。

7 结论

通过对斜井取风状态下对既有隧道内列车附近风场的影响开展数值模拟,并将不同工况下的计算结果进行对比分析,得出以下结论:

①通过对比斜井取风与不取风情况下的测点风速值,可知斜井取风会造成隧道内风场变动,测点风速值增大,但影响范围有限。

②斜井取风会打破列车两侧的受力平衡,使列车在斜井取风的风场影响范围内运行时承受一定的横向力,但通过计算得知列车发生倾覆的可能性很小,基本上不影响列车安全运营。

参考文献

- [1] 赵国锋.特长隧道施工技术难点及解决措施[J].中国公路,2020(17):94-95.
- [2] 刘旭全,宋领弟.香山特长隧道辅助坑道设置方案优化及实践[J].中国铁路,2020(12):144-149.
- [3] 杨磐石,刘畅,罗刚.超长公路隧道斜井及正洞通风方案优化研究[J].中外公路,2022,42(1):187-192.
- [4] 罗刚,贾航航,刘畅,等.天台山隧道双斜井辅助正洞施工通风方式研究[J].公路,2020,65(1):275-280.
- [5] 何聪.大丽攀铁路特长高瓦斯隧道施工通风方案研究[J].现代隧道技术,2019,56(S2):478-484.
- [6] SUZUKI M, TANEMOTO K, MAEDA T. Aerodynamic characteristics of train/vehicles under cross winds[J]. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics,2003,91(1):209-218.
- [7] ANDERSSON E, HÄGGSTRÖM J, SIMA M, et al. Assessment of train-overtaking risk due to strong cross-winds[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F, Journal of rail and rapid transit,2004,218(3):213-223.
- [8] 赵军,梁佳,李少峰,等.横风条件下重载货车直线区段运行安全性研究[J].机械,2021,48(7):13-19.
- [9] 刘荣,姚松,许娇娥.侧风下高速列车临界倾覆风速研究[J].铁道科学与工程学报,2019,16(11):2643-2650.
- [10] 史宪明,吴剑,冷希乔,等.补强套衬对高速铁路隧道洞口微气压波的影响[J].铁道建筑,2017,57(10):53-55+59.
- [11] 黄宁.火车倾覆的力学分析[C]//第十四届全国结构风工程学术会议论文集,2009:775-782.